Aus der Abteilung
für Zahn- und Kieferersatz (Leiter Prof. Dr. Greve)
des zahnärztlichen Instituts (Direktor Prof. Dr. Euler)
der Universität Breslau

Weitere Versuche
zur
Form- und Raumbeständigkeit von Einbettungsmassen

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
bei der Hohen Medizinischen Fakultät der Schlesischen
Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau

vorgelegt von

Hans Hartmann
Zahnarzt

Breslau 1933
Druck von Anton Schreiber, Breslau

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Breslau

I. Referent: Professor Dr. Greve

II. - Professor Dr. Euler

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen Geschwistern!

Weitere Versuche zur Form- und Raumbeständigkeit von Einbettungsmassen.

Einer der Hauptfaktoren des noch immer einer befriedigenden Lösung harrenden zahnärztlichen Goldguß-problems ist die Einbettungsmasse.

Seit der Veröffentlichung der grundlegenden Arbeiten von Price und Solbrig sind bis in die jüngste Zeit hinein eine große Zahl von Abhandlungen über die Eigenschaften von Einbettungsmassen oder der Möglichkeit ihrer Verbesserung erschienen. Es sei in diesem Zusammenhang an die Untersuchungen von Schubert und Busch erinnert, die sich gegenwärtig mit der Herstellung von Einbettungsmassen befassen, die einen Expansionskoeffizienten aufweisen, der die Restkontraktion des Goldes aufzuheben in der Lage sein soll, während Pfaffenberger und Taylor bereits im Journ. of the amer. dent. Assoc. von einer Masse berichten, die eine Höchstexpansion von 1,25% bei 1000° C haben und damit ihrem Zwecke genügen soll.

Groß ist auch das Angebot der verschiedenartigsten Einbettungsmassen seitens der einschlägigen Firmen. Und doch dürfte unter den bisher auf dem Markt erschienenen noch keine sein, die allen Erfordernissen gerecht wird, es sei denn, daß zur Behebung der ihnen anhaftenden Mängel umständliche Hantierungen erforderlich sind oder teure Apparaturen, die ihrer Einbürgerung in die Praxis hindernd im Wege stehen.

Schoenbeck stellt an die Eigenschaften einer Einbettungsmasse folgende Erfordernisse: Sie soll feinkörnig sein, darf keine Kontraktionen aufweisen (eine geringe Aus-

dehnung ist wünschenswert, um der Kontraktion des Goldes entgegenzuwirken). Sie soll hitzebeständig und porös sein, um ein Entweichen der Luft zu ermöglichen.

Nach Solbrig verdient die Kieselsäure als Hauptbestandteil der Einbettungsmassen den Vorzug. Das Siliziumdioxyd als Quarz und Feuerstein in pulverisierter Form oder als feiner Sand zeigt bis zu Hitzegraden, die über dem Goldschmelzpunkt liegen, keinerlei nachteilige Veränderungen, sondern geringe Ausdehnung. Anders verhält es sich mit dem Gips, der mit Wasser zusammen als Bindemittel dient.

Der Gips erleidet Formveränderungen durch den Abbindungsprozeß, er dehnt sich aus. Dabei ist der Prozentsatz an Wasser von Bedeutung. Sehr dünn angerührter Gips zeigt eine geringere Ausdehnung als sehr dick angerührter, dessen Ausdehnung das doppelte betragen kann. Am geeignetsten erscheint ein Zusatz von 50% Wasser.

So günstig diese Ausdehnung beim Abbindungsprozeß scheint, so wird sie doch durch die starke Schrumpfung (Einsintern) zunichte gemacht beim Erhitzen.

Eine weitere Formveränderung des Gipses ist die Ausdehnung bei Wärme. Alle diese Eigenschaften des Gipses weist die Einbettungsmasse auf, in der man Gips als Bindemittel nicht entbehren kann, und zwar im Verhältnis zu dem Prozentsatz des Gipses.

Man war deshalb bemüht, den Anteil an Gips auf einen möglichst niedrigen Prozentsatz zu reduzieren.

Der geringste zulässige Prozentsatz des Gipses würde theoretisch die Menge sein, die das Porenvolumen des verwendeten Sandes ausfüllt. Dieses beträgt beim Hohenbockaer feingemahlenen Fluß-Sand 34%. Praktisch ist das jedoch nicht durchführbar, da die Mischung eine für die Verarbeitung zu dicke Konsistenz annehmen würde.

Solbrig wählte deshalb 40 ccm Wasser, die mit 100 g Sand und 25 g Gips verarbeitet eine Einbettungsmasse ergeben, die keine Expansion zeigen soll, während andere Einbettungsmassen um so mehr Ausdehnung zeigen, je höher der Prozentsatz des Gipses steigt. Die Formveränderungen sind danach lediglich vom Gips abhängig und steigern sich proportional seinem Prozentsatz:

Ausdehnung der Einbettungsmasse

	Teile				
Gips	1	1	2	3	4
Sand	2	1	1	1	1
Ausdehnung in %	0,10	0,20	0,34	0,38	0,40

Auch die Schrumpfung der Einbettungsmasse hängt von dem Prozentsatz des Gipses, wie auch von der Höhe der Temperatur ab.

Nach den Messungen von Solbrig ergibt sich folgendes:

Schrumpfung der Einbettungsmasse nach dem Ausbrennen des Wachses

Teile Sand	Teile Gips	Schrumpfung in %
3	1	0,4
2	1	0,6
1	1	0,8
1	2	0,9
1	3	1,2
1	4	1,34

Mit Zunahme des Gipsgehaltes wird also die Schrumpfung wesentlich größer.

Diese Ergebnisse sind die gleichen, wie sie B. A. Price erzielte, wenn auch auf anderen Wegen. B. A. Price fand je nach Zusammensetzung der betreffenden Massen zunächst eine geringe Expansion, die bei höheren Temperaturen sogar zunahm. Konnte dagegen ein höherer Gehalt an Gips festgestellt werden, so lag das Maximum der Expansion schon bei niedriger Temperatur, während darüber hinaus Kontraktion eintrat. Den Nachweis, daß der Gips der ausschlaggebende Faktor war, wies B. A. Price dadurch nach, daß er um einen Stab aus Quarz — Quarz dehnt sich auch bei höherer Temperatur nur unbedeutend aus — einen Gipsring formte. Dieser Gipsring lockerte sich beim Erhitzen, teils durch den Abbindungsprozeß, teils durch die höhere Temperatur. Bei Temperatursteigerung trat Schrumpfung ein, was daran zu erkennen war, daß sich der Ring fest an den Quarzstab anlegte und schließlich zerbrach.

Gips allein verwendet zeigt nach Price bei 350° eine maximale Expansion von 0,36% und beim Abkühlen eine

maximale Kontraktion von 1,4%. Beim weiteren Erhitzen zersetzt er sich bei 539°.

Bei den Einbettungsmassen stellte Price eine Abbindungsexpansion von 0,07% bis 0,18% fest. Beim Erhitzen steigert sich diese Expansion von 0,5% bis zu 0,85%, je nach Zusammensetzung. Dieser Expansion folgt beim nachherigen Abkühlen eine Kontraktion. Als maximale Expansion beim Erhitzen gibt Price 0,85% an.

Aehnliche Resultate hatte auch Gerlach. In seiner „Studie über feuerfeste Einbettungsmassen" berichtet er über dilatometrische Untersuchungen von deutschen und amerikanischen Handelsmarken mit dem selbstaufzeichnenden Quarzstab-Dilatometer nach Chevenard. Dabei konnten, wie bei früheren Untersuchungen anderer Autoren (Price u. a.), die Kontraktions- und Expansionswerte bei den verschiedenen Temperaturen ebenfalls mechanisch registriert werden, sofern es sich nicht um ausnehmend hohe Grade handelte; in diesen Fällen wurde mit einem Thermoelement registriert, dessen Lötstelle inmitten des Versuchskörpers lag. Diese Untersuchungen ergaben, daß sich in dem Kurvenverlauf beim Erhitzen von Einbettungsmassen deutlich die Kontraktionserscheinungen des Gipses und die Expansionsbestrebungen des Quarzes wiederspiegeln und daß dabei die besonders zur Kontraktion neigende Tendenz der Gipskomponente vorherrscht.

Nur in einem Falle zeigte sich im Kurvenbild die intermediäre Kontraktionsstufe bei 450° C vermischt. Bei 575° wird ein maximaler Expansionswert erreicht, doch liegt hier ein Umkehrpunkt, der eine plötzliche rapide Kontraktion einleitet, sodaß die Kurve bei etwa 800° C schon den Anfangswert des Volumens unterschreitet.

„Der Schluß ist berechtigt, daß der thermische Volumeffekt der untersuchten deutschen wie amerikanischen Handelsmarken gering ist, daß er zwischen Kontraktion und Expansion schwankt und sich innerhalb der auch von anderen Autoren festgestellten Grenzwerte bewegt. Diese liegen günstigstenfalls bei etwa 0,1 — 0,5%."

Sehr aufschlußreich sind die Arbeiten von Schubert, der sich seit Jahren mit allen Fragen des Goldgußproblems befaßt und schon vor Erscheinen der Studie von Gerlach einen Bericht auf der Bonner Tagung des Zentralvereins

gebracht hat über die physikalischen Eigenschaften der Einbettungsmassen, ihrer Beeinflussung und Ausnutzung im Goldgußverfahren. Schubert stellte die Abbindeexpansion wie die Ausdehnung während der thermischen Behandlung bis 900° von 12 bekannten Einbettungsmassen fest.

Die Messung der Abbindeexpansion geschah mikroskopisch unter zwei Komparator-Mikroskopen linear. Sehr störend wirkte dabei der Umstand, daß sich durch die oft stark einsetzenden Kontraktionsvorgänge im Anfangsstadium die Enden des 150 mm langen Kuchens aus Einbettungsmasse von der Unterlage abhoben. Deshalb wurden die Messungen an dickeren Kuchen von 55 mm Länge mit einem Zeiß-Meßmikroskop wiederholt. Bei den ersten Messsungen wurden in einer Entfernung von 150 mm zwei Kupferblechstreifen zur Einstellung in das Fadenkreuz der Okulare auf den Kuchen gelegt. Da aber während der Volumenveränderung der Einbettungsmasse Verschiebungen dieser Streifen nicht ausgeschlossen waren, wurden bei dem dickeren Kuchen von etwa 55 mm Länge im Abstand von 40 mm zwei kleine Kupferblechdreiecke aufgelegt. Dadurch wurde es ermöglicht, das Meßmikroskop in bestimmten Zeitabständen jedesmal genau auf dieselbe scharfe Spitze einzustellen. Die auf diesem Wege gefundenen Meßzahlen wurden den Berechnungen der Abbindungsexpansion zugrunde gelegt.

Die thermische Expansion wurde mittels eines elektrischen Ofens festgestellt, der mit Hilfe eines Physikers konstruiert und geeicht war. Die Messungen erfolgten an 110 mm langen Stäben aus Einbettungsmasse mit Quarzstäben, Thermoelement und einer beleuchteten, beweglichen Spiegelapparatur, die durch Lichtreflex die Ausdehnungsveränderung auf eine an der Decke angebrachten Skala warf. Diese Messungen wurden in zwei einander gleichen Oefen vorgenommen und aus den Resultaten im Mittelwert wurde die lineare Expansion prozentual der Länge des Prüfstabes errechnet.

Die Untersuchungsergebnisse sind aus nachstehender Tabelle ersichtlich:

Tabelle über physikalische Eigenschaften verschiedener Einbettungsmassen.

No.	Masse	Mischverhältnis Wasser zu Masse	Abbindeexpansion in Proz.	Wartezeit vom Anrühren bis zur 2. Einbettung in Min.	Thermische Expansion				Härte bei Belastung in kg/mm²	
					600° C	700° C	800° C	900° C	ungebrannt	gebrannt bei 800°
1	Tanne	1 : 2,2	0,48	40	0,21	0,39	0,47	0,50	0,038	0,011
2	Gloria	1 : 2,2	0,32	21	0,05	0,33	0,37	—	0,032	0,016
3	Favorit N. C. L.	1 : 2,2	0,62	30	0,31	0,41	0,52	0,56	0,036	0,012
4	Nagel	1 : 2,2	0,34	25	0,23	0,55	0,63	0,61	0,075	0,014
5	Zweiling	1 : 2,2	0,47	21	0,1	0,3	0,2	—	0,042	0,02
6	Rheinperle (Pohlig)	1 : 2,2	0,49	21	0,03	0,16	0,1	0,06	0,095	0,033
7	Kerr Nr. 4	1 : 2,2	0,03	46	0,23	0,53	0,56	0,56	0,102	0,062
8	Pyromold	1 : 2,4	0,31	50	0,61	0,65	0,50	—	—	0,057
9	Coecal	1 : 2,6	0,29	60	0,39	0,66	0,69	0,64	0,159	0,084
10	Green Investment	1 : 2,2	0,41	50	0,74	0,81	0,88	0,8	—	—
11	F 16	1 : 2,6	0,64	50	0,21	0,52	0,59	0,63	0,079	0,025
12	F 131	1 : 2,6	0,62	45	0,40	0,52	0,52	—	0,204	0,036

Die Tabelle zeigt recht unterschiedliche Resultate. Es kann deshalb nicht gleichgültig sein, welche Einbettungsmassen zu Präzisionsgüssen verwendet werden. Nach Untersuchungen von Schaeffner ist die Restkrontraktion der einzelnen Goldlegierungen verschieden; sie beträgt beispielsweise bei 22karätigem Gold 1,2%, bei solchem mit steigendem Platinzusatz nur noch 0,9%. Gerade bei der überwiegenden Verwendung platinarmer Golde sind die Expansionswerte der Einbettungsmassen von besonderer Wichtigkeit zur Kompensierung der Goldkontraktion. Da aber obige Tabelle keine Einbettungsmasse zeigt, deren thermische Expansion allein dazu ausreichen würde, sondern bestenfalls annähernd eine Addition der Abbindeexpansion zur thermischen, ist es empfehlenswert, beide Möglichkeiten für den Guß auszunutzen. Daher empfiehlt die Deutsche Gold- und Silberscheideanstalt eine Einbettung in zwei Zeiten. Zuerst soll das Wachsmodell mit einer Schicht Einbettungsmasse umkleidet werden und der so geschaffene Kern bis zur Abbindung frei bleiben. So kann die Einbettungsmasse, ohne durch einen Gußzylinder behindert zu sein, ihre Abbindungsexpansion nach allen Dimensionen entfalten. Erst dann erfolgt die Einbettung in die Gußmuffel.

Unterdessen stellten, wie schon oben erwähnt, Pfaffenberger und Taylor eine Einbettungsmasse zusammen, die eine Höchstexpansion von 1,25% aufweisen soll. Sie besteht aus 25% Gips und 75% Cristoballit. Auch Schubert hat mit Unterstützung von Dr. Busch, Leverkusen, Versuche mit Massen, die Zusätze von Cristoballit enthalten, angestellt und befriedigende Resultate erhalten. Weitere Versuche sind noch im Gange.

Wenn es gelingen sollte, Einbettungsmassen herzustellen, die neben einer feinen Körnelung die erforderliche Porosität, Hitzebeständigkeit und Expansionswerte aufweisen, die zum Ausgleich der Goldgußkontraktion ausreichen, dann wäre auf diesem viel umstrittenen Gebiet ein großer Schritt vorwärts getan.

Solange aber dieses Ziel noch nicht erreicht ist und den handelsüblichen Einbettungsmassen die verschiedensten Mängel anhaften, wird man nach Methoden suchen müssen, die diese Mängel tunlichst wettmachen in möglichst einfacher, für die Praxis geeigneter Form.

Eine dieser Methoden, zweischichtige Einbettung, wurde oben schon erwähnt.

Auch bei der Kerr'schen Einbettungsmethode erfolgt eine zweizeitige Einbettung. Zuerst wird das Wachsmodell mit einer dünnen Schicht Einbettungsmasse überzogen. Dann wird mit einem trockenen Haarpinsel trockene Einbettungsmasse solange aufgestreut, bis kein Pulver mehr absorbiert wird. Mit einem Vibrationsinstrument fährt man dann mehrmals über den Rand des Holzgußkegels, bis wieder feuchte Masse zum Vorschein kommt. Dann wird wieder trockenes Pulver aufgestreut und so fort, bis in erster Linie die inneren Flächen der Kronen oder Inlays mit einem harten Kern überzogen sind. Dann wiederholt sich derselbe Vorgang um das ganze Modell herum. Dieses Verfahren soll der Erhaltung der Dimensionen dienen. Erst dann erfolgt die zweite Einbettung in die Gußmuffel. Diese wird hermetisch verschlossen und in das Warmwasserbad eines Thermostaten gebracht. Da eine sehr langsam abbindende Einbettungsmasse Verwendung findet, kann sich das Wachsmodell entsprechend den Wärmegraden so ausdehnen, daß es die Goldkontraktion aufhebt. Die Ergebnisse dieses Verfahrens werden nach Spanner von verschiedenen Autoren als ausgezeichnet hingestellt, das Verfahren selbst aber wird als zu umständlich empfunden; es ist wegen der Notwendigkeit, die Gußküvette wasserdicht zu verschließen, und wegen der geringen Festigkeit der Einbettungsmasse auf die Herstellung kleiner Gußstücke (Inlays, Halb- und Dreiviertelkronen) beschränkt.

Hier wird also die Expansion, die das Modellwachs bei Erwärmung erfährt, ausgenutzt, um mit der allein nicht genügenden Abbinde- und thermischen Expansion der Einbettungsmasse zusammen die Goldgußkontraktion auszugleichen.

Bevor noch weitere Versuche dieser Art erörtert werden, dürfte es zweckmäßig sein, sich kurz mit den Eigenschaften des Modellwachses zu befassen.

Welche geringen Temperaturunterschiede genügen, um das Volumen des Wachses zu verändern, weist Solbrig dadurch nach, daß er ein Stück Wachs durch Einstechen eines Drahtes so beschwert, daß es in kaltem Wasser eben zu Boden sinkt. Erwärmt man das Wasser um wenige

Grade, so steigt das Wachs nach oben und schwimmt oben auf. Das spezifische Gewicht ist also im erwärmten Wachs geringer, folglich muß sich sein Volumen vergrößert haben.

Prüfungen der Ausdehnung verschiedener Wachse zeigen verschiedene Resultate je nach ihrer Zusammensetzung. Der Ausdehnungskoeffizient steigert sich, je höher das Wachs erhitzt wird. Ist also die Ausdehnung des zu verarbeitenden Wachses bekannt, so kann man leicht feststellen, bis zu welchem Grade man das Wachs erwärmen muß, um die ungenügende Expansion der Einbettungsmasse bis zur gewünschten Höhe zu ergänzen.

Eine andere wichtige Eigenschaft des Wachses ist seine Elastizität. Die erste Form dieser Elastizität ist eine gewisse Federung, die jedes Wachs aufweist, und zwar bei einer niedrigeren Temperatur, als sie zu seiner Bearbeitung notwendig ist, und das ist in um so ausgesprochenerem Maße der Fall, je dünner das Wachs ist.

Eine zweite Form der Elastizität ist eine gewissermaßen latente Elastizität, die das Wachs beibehält, wenn es abgekühlt wird, während es Zug oder Druck ausgesetzt ist. Diese Elastizität hört erst dann auf, wenn das Wachs bis zu seiner höchsten Bearbeitungstemperatur erwärmt ist.

Wie bedeutend die Schwankungen dabei sind, hat Solbrig in folgender Tabelle gezeigt:

Wachs	gepreßt und unter Minim. abgekühlt	aufs Maxim. erwärmt	Prozent der Ausdehnung	gezogen und unter Minim. abgekühlt	aufs Maxim. erwärmt	Prozent der Kontraktion
No 1	2,80 mm	3,75 mm	33,93	50,00 mm	48,30 mm	3,40
= 2	2,70 =	3,65 =	35,19	50,00 =	40,40 =	19,20
= 3	2,10 =	2,65 =	26,19	50,80 =	44,65 =	12,11
= 4	2,58 =	3,30 =	27,91	50,60 =	39,10 =	21,34
= 5	2,95 =	2,25 =	15,38			

Diese latente Elastizität des Wachses muß beseitigt werden, wenn sie sich nicht störend auswirken soll, sobald das Wachsmodell höheren Temperaturen ausgesetzt wird. Solbrig weist einen einfachen Weg zur Erreichung dieses Zieles, nämlich Erwärmung von gebogenen Wachsstangen oder -Ringen bis zu ihrer oberen Verarbeitungstemperatur, während sie in dem erzwungenen Zustand gehalten werden. Wird das Wachs dann abgekühlt, so zeigt es keine Formveränderung mehr beim Wiedererwärmen: es hat eine molekulare Verschiebung stattgefunden, die Moleküle haben sich in normaler Weise angeordnet und zwar in der neuen Form, die das Wachs erhalten hat.

Wäre es nicht zu zeitraubend, das Wachs in der erzwungenen Form lange genug festzuhalten — analog also das Wachsmodell auf dem Arbeitsmodell — so würde es auch bei gewöhnlicher Temperatur nach und nach seine latente Elastizität einbüßen und zwar nach Price 100% in 10 Tagen, 90% in 3 Tagen, 75% in 24 Stunden.

Price zeigte schon 1911, daß das Gleichgewicht der inneren Spannungen im Wachsmodell gestört ist, wenn dieses etwa durch Einpressen in eine Höhle hergestellt wird. Das Wachs hat dann das Bestreben, sein Gleichgewicht wiederzufinden. Von zwei Wachsstäben, von denen einer nach Erwärmung gepreßt, der andere gedehnt worden war, verlängerte sich der erste um $4^1/_2$% bei gleichzeitiger Verdünnung, der gedehnte Stab verkürzte sich um 6% bei entsprechender Verdickung. Verstanden werden kann diese Erscheinung der allmählichen Formveränderung nach Analogie des Spannungsausgleiches eines elastischen Körpers.

In einem zweiten Versuch hatte Price zwei in gleicher Weise behandelte Wachsstäbe in warm angerührte Einbettungsmasse gelegt, wonach in wenigen Minuten dieselbe Formveränderung der Wachsstäbe eintrat, die im ersten Versuch viele Stunden erforderte. Die mechanische Beeinflussung durch Druck oder Zug verursachte also eine Störung des molekularen Ruhezustandes des Wachses und die Schnelligkeit der Rückkehr zum Ruhestand war abhängig von der Temperatur.

Price glaubte, die Wiederherstellung des Gleichgewichtes könne dadurch erzielt werden, daß beispielsweise das in eine Zahnkavität eingepresste Wachs mittels eines

heißen Instrumentes geschmolzen werde oder daß man überhaupt das Wachs in geschmolzenem Zustande in die Zahnkavität einführe. Diese Ansicht bezeichnet Elander als irrig. Nach seinen Untersuchungsergebnissen treten in geschmolzenem Wachs nur dann keine Spannungszustände auf, wenn Erstarrung und Erkaltung in einem Medium von gleichmäßiger Art und Temperatur vor sich gehen, in dem das Wachs sich nach allen Richtungen ungehindert kontrahieren kann. Aber solche Verhältnisse bieten sich nicht bei einer in eine Zahnkavität geschmolzenen Wachsmenge. Sie wird von zwei Medien umgeben, dem Zahn und der Luft, die verschiedene Wärmegrade besitzen und verschiedene Wärmeleiter sind. Die der Zahnwand anliegende Wachsschicht muß sich deshalb in anderem Tempo abkühlen als die der freien Oberfläche zugekehrte. Daraus müssen unregelmäßige Spannungen entstehen, die noch eine Vergrößerung dadurch erfahren, daß das flüssig eingebrachte Wachs an der Höhlenwand klebt und hier bei der Erstarrung an seiner Kontraktion gehindert wird und eine Streckung erfährt. Elander hat das in Versuchen nachgewiesen und gezeigt, daß die Schwierigkeiten bei Herstellung korrekter Wachsmodelle größer seien als Price sie sich vorstellte. Ob das Wachsmodell durch Einträufeln flüssigen oder durch Einpressen plastisch gemachten Wachses hergestellt wird, in jedem Falle weist es Spannungsdifferenzen auf, die ausgeglichen werden müssen. Dabei sich etwa ergebende Formveränderungen sind nachher zu korrigieren.

Die Wiederherstellung des molekularen Ruhestandes, die Entspannung des Wachsmodells, muß mindestens bei ebenso hoher Temperatur gechehen, wie sie erforderlich ist, um in formvergrößerndem Sinne auf das Wachsmodell zu wirken und so, mit der Expansion der Einbettungsmasse zusammen, zu dem gewünschten Resultat zu führen. Elander hat dafür eine Temperatur von etwa 50° C ermittelt. Auf diesen Prinzipien und Ueberlegungen beruht das von ihm in allen Einzelheiten beschriebene Entspannungsverfahren. Nach der Entspannung bleibt die Form des Wachsmodells auch bei Temperaturänderungen erhalten.

Die einzelnen Wachssorten verhalten sich je nach ihrer Zusammensetzung und Vorbehandlung beim Erwärmen verschieden. Nach Spanner gelten zwei Regeln anscheinend für alle Wachssorten:

1. Je höher die Temperatur ist, um so größer ist die Ausdehnung pro Grad Temperaturerhöhung (Volland & Pfaffenberger).

2. Flüssig geformtes, also gegossenes Wachs bleibt beim Erwärmen auf 40—50° noch fest, während plastisch eingedrücktes Wachs schon bei etwas über 30° so weich wird, daß es unter dem Eigengewicht die Form verliert (Besier).

Schoenbeck nennt die Temperatur, bei der Modellwachs beginnt verformbar zu werden, die minimalste Verarbeitungstemperatur, als Maximum bezeichnet er diejenige, bei der Modellwachs seine Formbeständigkeit gerade noch beibehält, ohne zu schmelzen oder krümelig zu werden. Er gibt für sechs der bekanntesten Modellwachssorten nachstehende Expansionswerte an:

	C	Ausdehnungskoeffizient pro Grad
Standard Einlegewachs	20—43°	0,049%
	20—53°	0,083%
	43—57°	0,139%
Cleveland	20—43°	0,052%
	20—53°	0,105%
	43—53°	0,227%
S. S. White schwarz	20—46°	0,079%
	20—53°	0,016%
	46—53°	0,207%
Kerr	20—42°	0,045%
	20—52°	0,076%
	42—52°	0,143%
Taggarts grün	20—40°	0,055%
	20—54°	0,062%
	40—54°	0,071%
Boedecker	20—38°	0,027%
	20—54°	0,037%
	38—54°	0,048%

Nach diesen Erkenntnissen über die Eigenschaften des Modellwachses war es naheliegend, sie dort auszunutzen, wo die Expansionswerte der verwendeten Einbettungsmassen nicht ausreichen, die Goldgußkontraktion auszugleichen.

Elander ging sogar so weit, die Erwärmung und die dadurch bedingte Ausdehnung des Wachsmodells als einen der wichtigsten Faktoren zu bezeichnen, die für eine Vergrößerung der Gußform in Frage kämen, um so wichtiger, als er innerhalb gewisser Grenzen beherrscht werden kann, indem man durch Regelung der Erwärmung das Maß der Ausdehnung bestimmen kann. Damit diese Ausdehnung unbehindert vor sich gehen kann, ist es nötig, daß die Einbettungsmasse langsam abbindet.

Maves hat 1928 eine Methode ausgearbeitet, bei der besonders großer Wert auf die Erwärmung des Gußwachses gelegt wird. Für eine Vollkrone soll das Wachs etwa 55° C, für ein Inlay nur etwa 38° C haben, während die Einbettung in möglichst kleinen Zylindern erfolgen soll.

Orbàn schildert die von Meyer und Maves in Minneapolis ausgearbeitete Technik: Anrühren der Einbettungsmasse mit 50—60° C warmem Wasser und Mischen in vorgewärmtem Gumminapf, Gußzylinder in 50—60° C warmes Wasserbad stellen auf 30 Minuten.

Preißecker empfiehlt ein ähnliches Verfahren.

Auch er verwendet zum Anrühren der Einbettungsmasse 58° C warmes Wasser und bringt nach erfolgter Einbettung die Gußküvette in ein ebenso temperiertes Wasserbad, aus dem sie nur einige Millimeter mit ihrem oberen Rand herausragen soll. Das Wasser wird 20 Minuten lang mittels einer kleinen Flamme auf genannter Temperatur gehalten. Als Modellwachs verwendete Preißecker Harvard-Blauwachs.

Rosenzweig betrachtet kritisch die Expansionsgußtechnik nach Meyer und die modifizierte Expansionsgußtechnik von Preißecker. Er kommt zu dem Ergebnis, daß nur bei Innehaltung aller Vorschriften nach Meyer wirklich einwandfreie Gußresultate erzielt werden.

Während bei den eben genannten Autoren von einem beiderseitigen Verschluß der Gußküvetten keine Rede war, wird dieses Verfahren von Rice angewandt. Er umgibt das Wachsmodell zunächst mit dünn angerührter Einbettungs-

masse, füllt die Muffel dann mit dickbreiiger Einbettungmasse voll, verschließt sie beiderseits mittels einer besonderen Klammer und bringt sie bis zur vollständigen Erhärtung der Einbettungsmasse in ein Wasserbad von 44 — 46° C.

Bei neueren Untersuchungen stellte Maves fest, daß bei Anwendung der Wärmeeinbettung die Wachsmodelle alle eine Formveränderung erlitten, die am geringsten bei in die Form eingeschmolzenen Wachsproben war, die ohne Druck abkühlen konnten. Auf Grund dieser Erfahrungen rät Maves von der Wachsexpansionsmethode ab und befürwortet die Verwendung gut expandierender Einbettungsmassen.

Lutz hingegen bringt eine Zusammenstellung der Expansions- und Kontraktionswerte von Wachs und Einbettungsmassen, zitiert dabei Han, van Horn, Price, Smreker und Solbrig und kommt zu dem Schluß „Diesen Veränderungen der Modelle aus Wachs und des Einbettungsmaterials steht die Kontraktion des Goldes gegenüber, die beim Erstarren desselben in Erscheinung tritt. Durch Versuche wurden Kontraktionswerte des Goldes von 0,5 bis 1,7% gefunden. Zusammen mit den Kontraktionswerten des Wachses und der Einbettungsmasse ergibt sich eine erhebliche Abweichung z. B. von der gewünschten Gußfüllung. Von großem Vorteil wäre es demnach, wenn die Expansionsmöglichkeit des Wachses in der Weise geleitet und ausgenützt werden könnte, daß die Kontraktion des Goldes kompensiert wird. Hierfür sind bereits Methoden ausgearbeitet, die unter dem Namen Expansionsguß veröffentlicht wurden."

Schubert hält die Warmwassereinbettung für zu zeitraubend; er meint, daß sie deshalb und wegen verschiedener erforderlicher Apparate schwer Eingang in die Praxis finden könne. Er hält die Kerr-Methode für die zuverlässigste, aber für zu umständlich. Auch Schubert wendet sich wieder Versuchen zu, Einbettungsmassen mit genügend hohem Expansionskoeffizienten zu finden.

In seiner in diesem Frühjahr veröffentlichten Arbeit behandelt Spanner die verschiedensten bei der Gußtechnik in Frage kommenden Faktoren wie Wachs, Einbettungsmasse, Schwindung und Kontraktion der Goldlegierungen und die Möglichkeit ihres Ausgleichs durch Expansion des Wachsmodells durch Erwärmung und Benutzung einer Einbettungsmasse, die sich beim Vorwärmen stark ausdehnt. Beide

Möglichkeiten können kombiniert werden; auch kann neben der thermischen die Abbindeexpansion der Einbettungsmasse ausgenutzt werden und — bei indirekten Methoden — die Abbindeexpansion der Modellmasse. Andererseits muß außer der Kontraktion der Gußlegierung auch die Schrumpfung des Wachses oder einer Abdruckmasse bei der Abkühlung von Verarbeitungs-, also Mund- auf Zimmertemperatur, ausgeglichen werden.

Spanner führt zur Erläuterung dieser Ausführungen einige Zahlen an, die hier folgen:

Kontraktion der Goldlegierung	— 1,2 bis — 1,7%
Kontraktion des Wachses bei Abkühlung von Verarbeitungs- auf Zimmertemperatur etwa	— 0,5%
Abbindeexpansion des Modellgipses	+ 0,2 bis + 0,4%
Expansion des Wachsmodells durch Erwärmen (Wärmeeinbettung)	+ 0,6 bis + 2,0%
Abbindeexpansion der Einbettungsmasse	+ 0,1 bis + 0,4%
Verhalten der Einbettungsmasse beim Vorwärmen auf 600° bis 700° je nach der Zusammensetzung	— 0,6 bis + 1,2%

(— bedeutet Schrumpfung, + bedeutet Ausdehnung).

Spanner bringt u. a. auch eine von Volland und Pfaffenberger stammende Zusammenstellung:

Schrumpfung des Abdruckmaterials	— 0,3 %
Ausdehnung des Modellmaterials	+ 0,3 %
Gesamtausdehnung einer guten Einbettungsmasse	+ 1,2 %
Schrumpfung der Gußlegierung	— 1,25%
Ergebnis	— 0,05%

Hier finden also außer der Einbettungsmasse noch eine Reihe anderer Faktoren bei dem Goldgußverfahren Berücksichtigung. Während bei Verwendung einer schlecht expandierenden Einbettungsmasse die Wachsexpansion durch Warmeinbettung den Hauptanteil trägt an der Kompensierung der Goldkontraktion, ist nach den Zahlen von Volland und

Pfaffenberger auch bei Kalteinbettung eine gutexpandierende Einbettungsmasse dazu imstande bei Ausnutzung ihrer Gesamtexpansion. Die dazu erforderlichen Gesamtexpansionswerte müßten demnach etwa 1,3% betragen.

Der Ausnutzung der Abbindeexpansion stellen sich jedoch bei Verwendung eines starren Metallzylinders zum Einbetten Schwierigkeiten entgegen, wie Hahn gezeigt und Schubert bestätigt hat. Zwischen den starren Wänden der Metallmuffel wird die Expansion der Einbettungsmasse beschränkt und kann sich nur in Richtung der offenen Stirnwände frei entfalten. Zur Ueberwindung dieser Schwierigkeit empfiehlt Hahn die Verwenduug von Papierzylindern an Stelle der Metallmuffeln. Dem gleichen Zweck dienen die von Fabian angegebenen Metallzylinder mit Fenstern.

Spanner zeigt noch eine andere Möglichkeit zur Ausnutzung der Abbindeexpansion, die Elbrecht sowie Thielemann angegeben haben. Das Wachsmodell wird zunächst außerhalb der Muffel mit einer dicken Schicht Einbettungsmasse umgeben. Diesen Kern läßt man frei erhärten, sodaß sich die Abbindeexpansion voll zur Vergrößerung der Gußform auswirken kann. Erst nach dem Abbinden des Kerns wird das Ganze in die Muffel gebracht und diese mit Einbettungsmasse ausgegossen.

Spanner bezeichnet es ferner als zweckmäßig, das Wachsmodell in der Muffel so anzuordnen, daß diejenigen Teile, bei denen eine Verkürzung besonders störend wirken würde, in der Längsrichtung der Muffel zu liegen kommen, also in der Richtung, in der die Abbindeexpasion nicht behindert wird.

Die thermische Expansion der Einbettungsmasse während des Vorwärmens wird durch den starren Metallzylinder nicht behindert; dieser erweitert sich beim Erhitzen genügend, um Raum für die Ausdehnung der Masse zu schaffen.

In den letzten Jahren sollen in Amerika Einbettungsmassen hergestellt worden sein, deren Expansion so groß ist, daß man ihnen den Hauptanteil beim Ausgleich der Goldkontraktion überlassen kann. Auch einige europäische Massen sollen den Ansprüchen genügen, die diese Methode an sie stellt.

Spanner faßt den Vergleich der einzelnen Methoden in den Sätzen zusammen: „Für den Marterialforscher, der

die Verschiedenheiten in der Geschicklichkeit und Einrichtung des einzelnen Verarbeiters zunächst nicht in Betracht ziehen kann, ergibt sich dei einem Vergleich der drei Methoden

Wachsexpansion,

Expansion der Einbettungsmasse,

Kombination beider,

daß sie gleichwertig sind. Jede gestattet, bei zweckmäßiger Arbeitsweise, die Erreichung des Zieles."

Die bisherigen Betrachtungen haben also die verschiedenartigsten Methoden gezeigt, nach denen Einbettungsmassen verarbeitet werden können, um möglichst brauchbare Resultate zu erzielen. Sie haben aber auch gezeigt, daß dabei eine weit größere Zahl wichtiger Momente zu berücksichtigen ist, als es bei flüchtiger Betrachtung erforderlich zu sein scheint. Es genügt nicht für den Verbraucher, eine Einbettungsmasse zu verwenden, die ihm als gut oder erstklassig empfohlen wird. Er muß das erforderliche Mischungsverhältnis, das Mengenverhältnis von Masse zu Wasser, kennen, die geeignetsten Temperaturen beim Vorwärmen, die Abbinde- und die thermische Expansion und, sofern die Gesamtexpansion allein nicht ausreichend ist und die Wachsexpansion zu Hilfe genommen werden muß, die Eigenschaften des zu verwendenden Wachses, seine höchste und niedrigste Verarbeitungstemperatur, seine Expansionswerte. Und endlich muß die Gußkontraktion der Goldlegierung bekannt sein, deren Größe ja bestimmend ist für alle die Faktoren, die sie kompensieren sollen, ganz abgesehen von den vielen Einzelheiten der Gußtechnik selber, wie sie z. B. Grawinkel, Scheer, Orbàn und andere Autoren eingehend behandelten.

Das ist, alles in allem, eine derartige Fülle von Zahlen und Vorschriften, daß es für den Praktiker immer schwieriger wird sich hindurchzufinden, außerdem kann man häufig von den Verkaufsfirmen selbst nicht einmal die erforderlichen Wertangaben über Einbettungsmassen und andere Materialien erfahren. Der Praktiker wünscht einfache klare Gebrauchsanweisungen.

Dieser Gesichtspunkt sollte leitend sein für das Ziel, das bei den nun folgenden praktischen Versuchen über Form- und Raumbeständigkeit von Einbettungsmassen anzustreben war.

Es galt zunächst einen Prüfapparat zu konstruieren, mit dessen Hilfe vergleichende Maße über die Expansionsbeziehungsweise Kontraktionswerte der zu untersuchenden Einbettungsmassen aufgestellt werden konnten.

Weschke führt in ihrer Dissertation als Prüfkörper einen konischen Stab an, um den sie an einer bestimmten Stelle Wachsringe modellierte und dann in Gold goß. Genügten die Expansionswerte der verwendeten Einbettungsmasse zur Kompensierung der Goldkontraktion, so war der gegossene Goldring genau so weit wie der Wachsring und ließ sich bis zu der Stelle aufschieben, an der der Wachsring modelliert worden war, während er andernfalls schon vorher festklemmte.

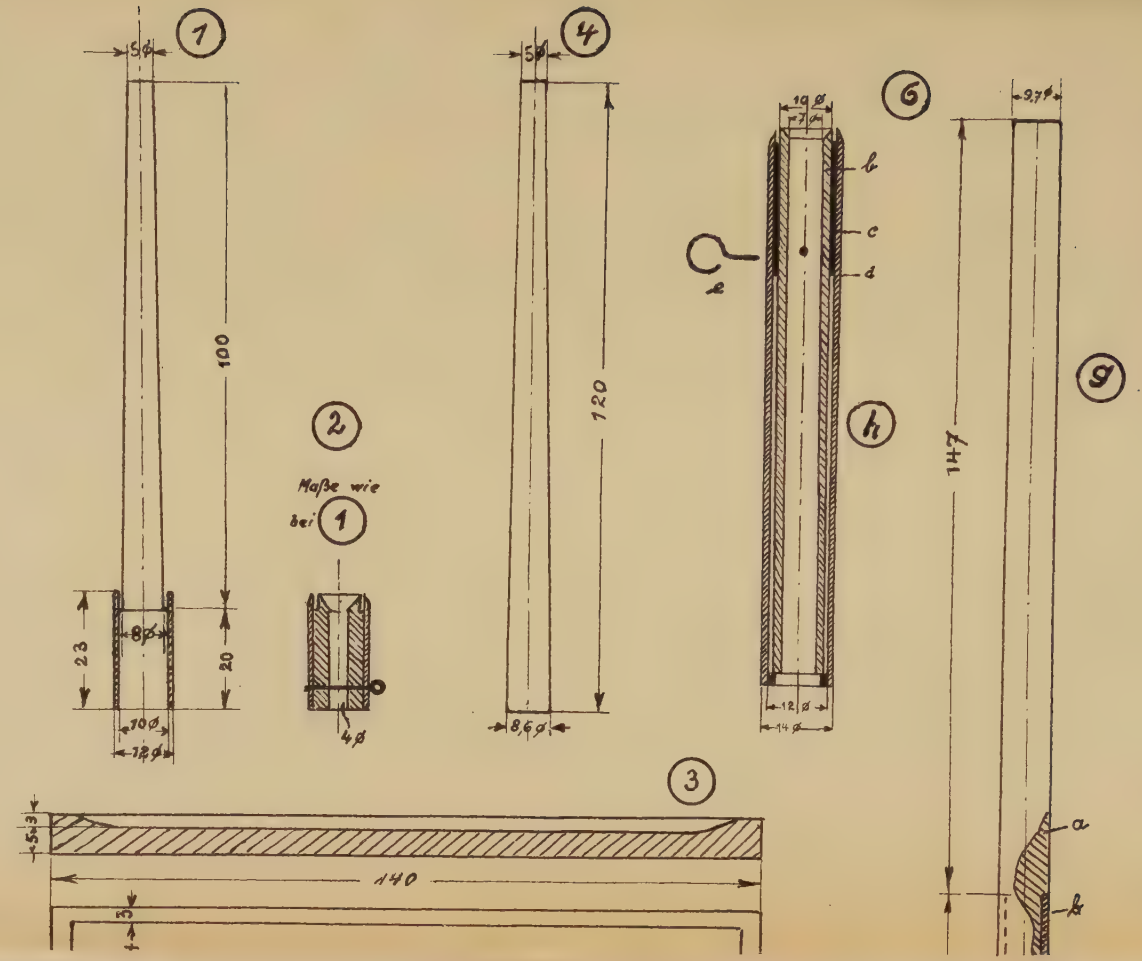
Dieser Gedanke wurde den Prüfapparaten zugrunde gelegt, die hier beschrieben werden sollen; aber die Form der Ringe und ihre Ausmaße sollten möglichst genormt werden.

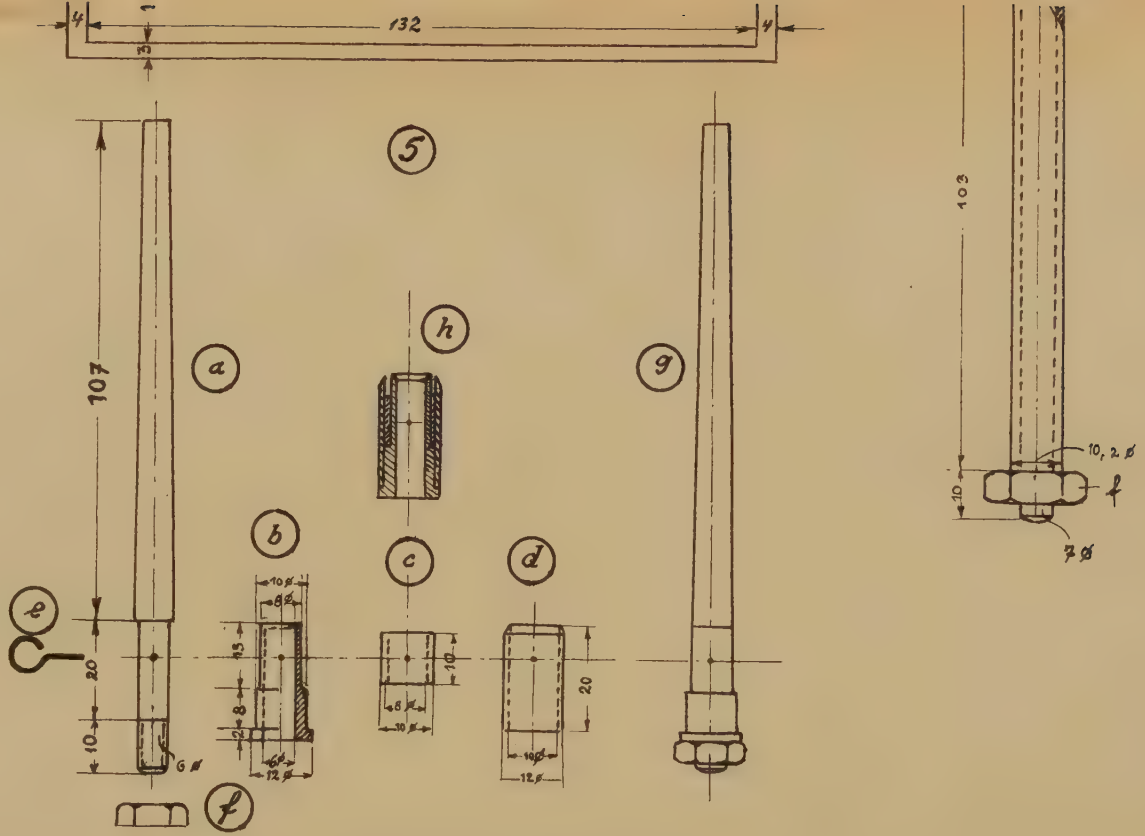
Die ersten Versuche wurden mit einem Apparat aus Stahl vorgenommen, wie er aus Abbildung 1 *) ersichtlich ist: Ein zylindrischer Schaft von 20,0 mm Länge und 10,0 mm Durchmesser geht mittels einer 1,0 mm breiten Stufe in einen Konus über von 100,0 mm Länge, der unten 8,0 mm, oben 5,0 mm im Durchmesser beträgt. Dazu gehört eine auf den Schaft passende Ueberfallhülse, die ihn um 3,0 mm überragt. Dadurch wurde ein ringförmiger Hohlraum geschaffen, in den das Modellwachs eingetropft werden konnte. So entstand ein Wachsring von 3,0 mm Höhe, 1,0 mm Dicke und einem inneren Durchmesser von 8,0 mm, der sich nach oben zu im gleichen Verhältnis wie der Konus verjüngte. Nach Abziehen der Ueberfallhülse nach unten konnte senkrecht zur Peripherie des Wachsringes ein Gußstift befestigt und der Ring nach oben abgehoben und gegossen werden.

Dieses Verfahren war sehr zeitraubend und mühsam, da das tropfenweise eingebrachte Wachs soviel Kohaesion zeigte, daß nur selten der Ring exakt ausfloß; es wurde deshalb nach einigen Tagen aufgegeben.

Die Wachsringe sollten auf einfachere Weise hergestellt werden. Es wurde versucht sie auszustechen, wozu der Apparat nach Abbildung 2 geeignet schien: Es handelt sich um dieselbe Form und dieselben Ausmaße wie bei 1, nur

*) Siehe die hinter S. 22 beigehefteten Konstruktionszeichnungen.


1
5Ø
100
23
8Ø
20
10Ø
12Ø
2
Maße wie bei 1
4Ø
4
5Ø
120
8,6Ø
6
19Ø
17Ø
b
c
d
e
h
12Ø
14Ø
9,7Ø
9
147
a
b
3
5+3
140
3



Konstruktionszeichnungen.

denke man sich den Konus 3,0 mm oberhalb der Stufe abgesägt, der Schaft ist, um dem überschüssigen Wachs beim Ausstechen die Möglichkeit zum Ausweichen zu geben, in seiner Längsachse durchbohrt, die Bohrung läuft nach dem Konus zu trichterförmig aus. Dazu dieselbe Ueberfallhülse, deren oberer Rand scharfkantig ist und die ein Splint gegen Verdrehen und Verschieben sichert. Zu diesem Apparat wurde eine Wachswanne konstruiert aus Messing 140,0 mm lang, 14,0 mm breit und 3,0 mm tief, Abbildung 3. In diese Wanne wurde das Modellierwachs flüssig eingebracht und nach Erhärten die infolge der Kohaesion gewölbt über den Rand überstehende Wachsschicht mittels eines Wachsmessers glatt abgeschnitten, was bei der geringen Breite der Wanne keine Mühe verursachte.

Dieser Apparat ermöglichte es, exakte Wachsringe auszustechen.

Wenn diese Ringe in Gold gegossen waren, wurden sie auf den in Abbildung 1 beschriebenen Konus, der ja dieselben Ausmaße besaß wie der soeben beschriebene Stechapparat, aufgepaßt. Bald machte sich aber das Bedürfnis nach einem Konus fühlbar, der auch die Messung von Ringen bei Expansion ermöglichte; denn auffallend viel gegossene Ringe ließen sich mit Leichtigkeit bis an den Schaft aufschieben.

Deshalb wurde der in Abbildung 4 dargestellte Konus konstruiert. Er zeigt dasselbe Verjüngungsverhältnis wie alle bisherigen. Bei ihm ist aber der Schaft weggelassen und dafür geht der Konus nach unten weiter, wo er 8,6 mm im Durchmesser mißt; er ist 120,0 mm lang.

Jetzt zeigte es sich, daß eine ganze Reihe von Ringen sich über die bisher durch den Schaft gesteckte Grenze hinausschieben ließ, während andere wieder stark kontrahiert waren. Die praktischen Ergebnisse waren überhaupt recht widersprechend selbst bei Verwendung derselben Einbettungsmasse, desselben Wachses und Anwendung derselben Gußtechnik und trotz sorgsamster Gleichschaltung auch der scheinbar nebensächlichsten Hantierungen. Eine große Zahl von Versuchen wurde so angestellt, bis der Fehler entdeckt wurde.

Die Apparate, die in einer Feinmechanikerwerkstatt angefertigt worden waren, stimmten zwar in ihren Ausmaßen bis auf Zehntelmillimeter, nicht aber auf Hundertstel, sodaß

kleinste Unterschiede bestanden zwischen den Ausmaßen des Stechapparates und denen der Meßapparate, die auch wieder voneinander abwichen. Wenn es sich auch nur um Bruchteile von Zehntelmillimetern handelte, so genügte das doch, wie noch später gezeigt wird, um zu widersprechenden Resultaten zu führen. Neu angefertigte Apparate zeigten noch immer geringste Abweichungen voneinander. Dabei soll die technische Schwierigkeit nicht verkannt werden, einen Konus auf Hundertstel von Millimetern genau einzuschleifen.

Eine andere Fehlerquelle bestand darin, daß der Wachsring nach Anbringen des Gußstiftes gelockert und nach oben von dem Konus abgehoben werden mußte. Dabei waren Verzerrungen möglich.

Um diese Fehlerquellen auszuschalten wurden Stech- und Prüfvorrichtung in einem Apparat vereinigt. Zu diesem Zweck wurde der Konus unterteilt wie Abbildung 5 zeigt. Der Herstellungsprozeß wurde dem Feinmechaniker genau vorgeschrieben. Die beiden Teile a und b, die zunächst zylindrisch waren, wurden aufeinander eingeschliffen, mittels der Schraubenmutter f verspannt und dann erst fortlaufend konisch gedreht und eingeschliffen. Das Verjüngungsverhältnis ist dasselbe wie bisher. Auf die konische Hülse b ist der Zwischenring c eingeschliffen. Da, wo sie mit ihrer oberen 1,0 mm dicken Kante abschneidet, hat der Konus wieder einen Durchmesser von 8,0 mm.

Die Teile b, c, d, und e zusammengesetzt ergaben den Apparat h zum Ausstechen der Wachsringe, die Teile a, b und f den Konus zum Messen der Ringe (g). Dadurch, daß der Zwischenring c hier weggelassen werden konnte, konnten auch expandierte Ringe gemessen werden.

Dieser Apparat bewährte sich. Die Ringe ließen sich exakt ausstechen und ohne die Gefahr, verzerrt zu werden, abheben, indem nach Entfernung des Splintes und der Ueberfallhülse d der Gußstift angeschmolzen und der Zwischenring c nach oben abgehoben wurde, auf dessen oberer Kante der Wachsring flach auflag.

Vor dem Ausstechen der Ringe wurden alle in Frage kommenden Metallteile hauchdünn mit Vaseline eingefettet. Die mit der gleichen Einbettungsmasse eingebetteten Ringe zeigten nach ihrem Guß ziemlich übereinstimmende Resultate, d. h. sie ließen sich gleichweit auf den Konus aufschieben.

Das Bild hatte sich jetzt gewandelt. Von den untersuchten Massen, darunter F 214, zeigte jetzt keine mehr eine hinreichende Expansion, kein Goldring ließ sich ganz bis an den Zwischenring c aufschieben, dessen Entfernung in keinem Fall erforderlich war. Dagegen zeigten verschiedene Einbettungsmassen von einander abweichende Resultate.

Diese Vorversuche bestätigten die Gangbarkeit des eingeschlagenen Weges, und nun konnte man zur Konstruktion eines Prüfapparates schreiten, der mit den Vorzügen des soeben geschilderten noch folgende Eigenschaften verband:

1. eine auf $^1/_{100}$ Millimeter garantierte Genauigkeit,
2. eine so geringe Verjüngung, daß feinste Weitenunterschiede der gegossenen Ringe in möglichst großen Abständen voneinander zum Ausdruck kamen,
3. die Möglichkeit einer leichten Errechnung der linearen Kontraktion bzw. Expansion.

In Abbildung 6 ist dieser Prüfapparat dargestellt. Im Prinzip und in der Handhabung gleicht er seinem Vorgänger, nur die Ausmaße sind andere. Die Gesamtlänge beträgt 250,0 mm, der Durchmesser unten 10,2 mm, oben 9,7 mm. Die Unterteilung ist so vorgenommen, daß der obere Teil, soweit er konisch ist, 147,0 mm, der untere 103,0 mm lang sind. Der saugend aufgeschliffene Zwischenring c, der aus technischen Gründen nur kurz gehalten wurde, ist durch einen besonderen Splint gesichert. Der Abstand der 1,0 mm breiten Oberkante des Zwischenringes von der Unterteilungsstelle des Konus beträgt wieder 3,0 mm, der Konusdurchmesser in Höhe der Oberkante des Zwischenringes also 10,0 mm, sodaß die mit diesem Apparat h ausgestochenen Wachsringe 1,0 mm dick und 3,0 mm hoch waren und einen inneren Durchmesser von 10,0 mm hatten, an ihrer unteren Kante gemessen.

Daß es nicht leicht war, ein Fachgeschäft zu finden, das die Herstellung dieses Apparates auf $^1/_{100}$ mm genau in Auftrag nahm, soll nur nebenbei erwähnt werden.

Mit diesem Prüfapparat wurden 5 verschiedene Einbettungsmassen untersucht und zwar in folgender Weise: Daß sämtliche in Frage kommenden Metallteile hauchdünn mit Vaseline eingefettet und die 3 mm hohen Ringe aus der Wachswanne ausgestochen wurden, war schon oben

gesagt. Letzteres schien insofern von Wichtigkeit zu sein, da ein Einpressen plastisch gemachten Wachses mit der Hand oder mit Instrumenten zu starke Kompressionen und innere Spannungsdifferenzen hervorgerufen hätte. Dann wurde die Ueberfallhülse d nach unten abgezogen, der Gußstift seitlich in den Wachsring eingeschmolzen, der Splint des Zwischenringes c entfernt und dieser nach oben abgezogen. Nun wurde mittels einer Pincette der Wachsring an dem Gußstift erfaßt und auf einen Holzkegel senkrecht aufgesetzt. Grundsätzlich wurden wenigstens 4 Ringe für den Versuch hergestellt. Sobald sie alle vier fertig waren, erfolgte die Entfettung mittels Alkohol. Dann wurde nach bestimmtem Mischungsverhältnis Einbettungsmasse angerührt, wozu abgestandenes Wasser von Zimmertemperatur Verwendung fand, und nun erfolgte die erste Einbettung aller Ringe nacheinander. Die Masse wurde mit einem Haarpinsel etwa 2 mm dick aufgetragen und sorgfältig darauf geachtet, daß Luftblasen beseitigt wurden.

Eine halbe Stunde später wurden die Ringe auf dem Holzkegel in die Gußmuffeln eingebettet. Das Mischungsverhältnis war dasselbe wie bei der ersten Einbettung.

Nach Entfernung der Holzkegel und Gußstifte wurde etwa zwei Stunden nach der letzten Einbettung in einem Degussa-Vorwärmeofen vorgewärmt. Die Muffeln blieben in der oberen Kammer des Ofens, bis 300° C erreicht waren und wurden dann in die untere gebracht. Bei 700° C wurde der Brenner so abgedrosselt, daß diese Temperatur sich für die Dauer des Gießens, das nur einige Minuten in Anspruch nahm, annähernd konstant hielt. Gegossen wurde mit einer Handschleuder.

Verwendet wurde 18 karätiges Gold, das 5% Platin enthielt und so hart war, daß eine Weitung der Ringe auch durch wiederholtes Aufschieben auf den Konus nicht eintrat, wie es bei 20 karätigem nicht platinhaltigem Gold während der ersten Versuche beobachtet wurde.

Erst nach Erkalten der Gußmuffeln wurden die gegossenen Ringe aus ihnen entfernt und mittels Wasser von Stubentemperatur und Bürste von der ihnen anhaftenden Einbettungsmasse befreit. Die Gußmuffeln waren aus Kupfer und 32,0 mm lang bei einem Durchmesser von 25,0 mm.

So vollzog sich ohne Ausnahme jeder Guß. Abweichungen sind in nachfolgenden Tabellen vermerkt.

Jeder fertige Ring wurde mittels eines über den Konus geschobenen Messingrohres fest auf den mit der freien Hand gehaltenen Konus aufgeschoben. Gemessen wurde die Entfernung untere Kante Ring — Ausgangsstelle. So soll fortan die Stelle genannt werden, bis zu der sich die Ringe aufschieben lassen müßten, wenn sie trotz des Gusses genau dem Wachsring entsprächen; sie liegt 3,0 mm unterhalb der Unterteilungsstelle des Konus. Von je 4 Ringen wurde immer das Mittel errechnet.

Der Konus hatte bei 250,0 mm Länge eine Durchmesserdifferenz von 0,5 mm. Das bedeutet pro 10,0 mm Länge eine Verjüngung von 0,02 mm. Hieraus läßt sich auch die jeweilige lineare Kontraktion ableiten.

Der Umfang ist eine lineare Funktion des Durchmessers, folglich geben die Kontraktionen, auf die entsprechenden Ausgangsdurchmesser bezogen, die linearen Kontraktionen an. Hat sich beispielsweise ein Ring so kontrahiert, daß er 20,0 mm von der Ausgangsstelle entfernt bleibt, so hat sich sein Durchmesser um 0,04 mm verkürzt.

$$\begin{aligned}
\text{Neuer } \varnothing &= 9{,}96 \text{ mm} \\
\text{a/10 mm } \varnothing\ 0{,}04 &\text{ mm, a/100 mm } 0{,}4\,\% \\
\varnothing \text{ Kontraktion} &= 0{,}4\,\% \\
\text{Alter Umfang} &= 2\,r\,\pi \\
2\,r = d &= 10 \text{ mm} \\
\text{also alter Umfang} &= 10\,\pi \\
\text{neuer Umfang} &= 9{,}96\,\pi \\
\text{also Kontraktion } 10\,\pi &- 9{,}96\,\pi \\
= 0{,}04\,\pi &= 0{,}4\,\% \text{ lineare Kontraktion.}
\end{aligned}$$

Wenn auf diese Weise die räumlichen Veränderungen der untersuchten Einbettungsmassen ermittelt wurden, so wurde die Beständigkeit ihrer Form bei den Vorwärmetemperaturen dadurch errechnet, daß auftretende Flossenbildung prozentual zur Gesamtzahl der Einzelgüsse angegeben wurde.

Die wichtigsten auf diese Weise gefundenen Resultate sind aus nachstehender Tabelle ersichtlich:

Tabelle 1

Masse	Verhältnis Wasser : Masse in g	Muffel	Vorw. Temperatur	Abstand der Ringe von der Ausgangsstelle	lineare Kontraktion	Flossenbildung in %
F 214	10 : 28	Kupfer	700° C	42,0 mm	0,84%	0
Hohenbocka	10 : 22	=	700° C	59,25 =	1,18%	0
Splendid	10 : 20	=	700° C	60,25 =	1,21%	0
Zweiling	10 : 22	=	700° C	98,0 =	1,96%	3
Perfekt	10 : 20	=	700° C	103,0 =	2,06%	4

Bei diesen Versuchen wurde Harvardwachs verwendet.

Ein kontraktionsloser Guß war bei keiner der verarbeiteten Einbettungsmassen zu verzeichnen trotz Ausnutzung der Abbinde- und thermischen Expansion. Die Massen sind in der Tabelle so geordnet, daß die am besten expandierende an erster, die am wenigsten expandierende an letzter Stelle steht.

Da bei der Einbettungsmasse F 214 die Abbindeexpansion mit 0,7 — 0,9%, die thermische Expansion mit 0,6 — 0,7% angegeben sind, also die Gesamtexpansion im Mittel 1,45% betragen soll, während das Ergebnis in Tabelle 1 immer noch eine Durchmesserkontraktion von $^{8}/_{100}$ mm zeigt, wurde eine große Reihe von Versuchen angestellt, deren günstigstes Ergebnis das soeben genannte darstellt. Tabelle 2 zeigt ungünstigere Resultate, obwohl hier die in der Gebrauchsanweisung vorgeschriebenen höheren Vorwärmetemperaturen 700 — 800° C zur Anwendung kamen.

Tabelle 2

F 214

Wachs	Misch. Verhältnis	Muffel	Vorw. Temp.	Abstand der Ringe von der Ausgangsstelle	lineare Kontraktion	Flossenbildung
S. S. White	10 : 28	Eisen	800° C	59,0 mm	1,18 %	0,2 %
"	10 : 28	Kupfer	750° C	50,0 "	1,— %	0 %
Harvard	10 : 25	Papier	750° C	49,0 "	0,98 %	0 %
"	10 : 28	Eisen m. Krepp-einlage	750° C	45,0 "	0,9 %	0 %

Bei den ersten beiden Versuchsreihen wurde S. S. White-Wachs verwendet, bei den zweiten Harvard-Blauwachs. Die trotz der hohen Vorwärmetemperaturen noch immer starken Kontraktionen ließen die Vermutung zu, daß die thermische Expansion sich in den Metallmuffeln nicht genügend auswirken könnte — Spanner stellt das in Abrede —, deshalb wurden für die nächste Versuchsreihe Papiermuffeln verwendet. Dabei zeigte es sich aber, daß die nach Vorschrift angerührte Masse zu dickbreiig war, da sich ein Klopfen bei Papiermuffeln von selber verbot. Deshalb wurde erneut in dem Verhältnis von 10 : 25 angerührt. Das Ergebnis war nur wenig besser.

Weitere Versuche wurden bei 750° Vorwärmetemperatur ausgeführt und Metallmuffeln mit Krepp-Papiereinlage verwendet, Mischungsverhältnis 10 : 28. Das Ergebnis war besser. Die besten Resultate wurden aber bei 700° C erzielt, wie Tabelle 1 zeigt.

Die Güsse zeigten durchweg eine ziemlich glatte Oberfläche, hervorzuheben ist die außerordentliche Formbeständigkeit der Masse. Sprünge kamen nur bei der Verwendung von Eisenmuffeln und bei 800° C vor.

Da bei Kalteinbettung zufriedenstellende Ergebnisse nicht zu erreichen waren — auch mit den anderen Massen wurden verschiedenste Versuche angestellt — wurde die Wachsexpansion auszunutzen versucht. Folgendes Verfahren wurde als verhältnismäßig einfach und brauchbar ermittelt:

Die Einbettungsmasse wird mit Wasser von Zimmertemperatur angerührt und die erste Einbettung vorgenommen, die jetzt nur dem Zweck exakten Ausfließens und der Vermeidung von Blasen dient. In dem bereitgestellten Warmwasserbad werden die Metallmuffeln vorgewärmt, sofort nach der ersten Einbettung auf den Holzkegel gesetzt und mit der übrigen Einbettungsmasse vollgefüllt. Dann wird die Muffel in das Warmwasserbad gestellt, bis Abbindung erfolgt ist — meistens schon nach 20 Minuten. Das Gefäß für das Warmwasserbad, ein 1 Liter fassender Aluminiumtopf mit regulierbarem Spiritusbrenner wurde so weit gefüllt, daß der obere Muffelrand einige Millimeter ans dem Wasser herausragte. Aber selbst wenn das Wasser über dem oberen Rand der Muffel stand, wurden nachteilige Folgen nicht festgestellt. Die Temperatur wurde mittels eines Wasserthermometers überwacht. Schwankungen bis zu $^1/_2{}^0$ oberhalb und unterhalb der angegebenen Temperaturen waren unvermeidlich aber ohne Belang.

Entspannt wurden die Wachsmodelle nicht. Verzerrungen waren nicht feststellbar. Trotzdem dürfte bei größeren Gußobjekten die Entspannung nicht zu umgehen sein. Dazu müßte das auf dem Arbeitsmodell befindliche Wachsmodell vor dem Einbetten in das schon bereitstehende Warmwasserbad gestellt und nach einigen Minuten wieder herausgenommen werden, um zu erkalten und dann in der beschriebenen Weise eingebettet zu werden.

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Warmeinbettung. Danach waren in jedem Falle brauchbare Resultate zu erzielen, die Ringe ließen sich dicht bis vor oder über die Ausgangsstelle hinaus schieben. Eine Ausnahme bildet die Einbettungsmasse Perfect, bei der mit zunehmender Temperatur die Kontraktion zunahm, während Splendid schon bei niedriger Temperatur hinreichend expandiert. Splendid liefert auffallend glatte Güsse, die angerührte Masse fühlt sich an wie feuchter Ton. Sprünge in der Form wurden nicht beobachtet.

Gefunden wurden die richtigen Temperaturen für die Warmeinbettung dadurch, daß zuerst bei 50° C eingebettet und je nach dem Ergebnis die Temperaturen erniedrigt oder erhöht wurden. Nachdem bei einer Einbettungsmasse kontraktionslose Güsse erzielt worden waren, konnten unter Zugrundelegen der Resultate aus Tabelle 1 die für die anderen Massen erforderlichen Temperaturen annähernd errechnet werden. Das geht aus Tabelle 4 hervor, die eine Zusammenstellung der Ergebnisse bei Kalteinbettung (Tabelle 1) und bei Warmeinbettung enthält und die in Spalte 3 eine auffallende Uebereinstimmung der Expansionsergebnisse zeigt, bei Verwendung desselben (Harvard-) Wachses und derselben Temperaturen. Bei dem stärker expandierenden S. S. Withe-Wachses sind die Ergebnisse unterschiedlicher.

Tabelle 3

Warmeinbettung. Mischungsverhältnis und Vorwärmetemperaturen wie Tabelle 1. Kupfermuffeln mit Krepp-Papier-Einlagen.

Masse	Wachs	Warmwasser-Temperatur	Abstand der Ringe von der Ausgangsstelle *	
F 214	Harvard	ca. 48° C		— 10,0 mm
Hohenbocka	=	= 48° =	+ 0,67 mm	
Splendid	=	= 40° =	+ 1,66 =	
Perfekt	=	= 48° =	+ 41,5 =	
Zweiling**	=	= 50° =	+ 0,5 =	
F 214	S.S.White	= 45° =		— 0,75 =
Hohenbocka	=	= 45° =	+ 0,75 =	
Splendid	=	= 45,5° C		— 56,25 =
Perfekt	=	= 53° C	+ 96,33 =	
=	=	= 48° =	+ 25,0 =	

* + = Kontraktion
— = Expansion

** bindet so schnell ab, daß schon zum Anrühren der Einbettungsmasse 50° warmes Wasser verwendet werden mußte.

nicht unmittelbar der Flamme ausgesetzt sind und Sprünge deshalb kaum vorkommen, aber auch das Vorwärmen über dem Bunsenbrenner führt zum Ziel. Das Mischungsverhältnis der einzelnen Einbettungsmassen entspricht einem Anrühren bis zur Sättigung.

Also auch ohne kostspielige Apparatur können exakte Güsse ausgeführt werden. Erforderlich aber ist die Kenntnis der Legierungen, Einbettungsmassen, des Wachses und der Temperaturen, die, zusammen verwendet, zu diesem Ziele führen. Es dürfte müheloser und empfehlenswerter sein, 20 Minuten lang die Temperatur des Warmbades zu beaufsichtigen und exakte Güsse zu liefern, als mindestens ebensolange schlecht sitzende Gußstücke zu bearbeiten, bis diese passend gemacht sind. Fraglos kann die deutsche Wärmeindustrie auch Thermostaten für Warmwasserbad liefern, die je nach Bedarf auf bestimmte konstant bleibende Temperaturen eingestellt werden können. Dann hätte die Warmeinbettung vor der zweizeitigen Kalteinbettung den Vorteil voraus, daß die Muffel sofort nach der ersten Einbettung des Wachsmodelles mit Einbettungsmasse vollgegossen und in den Thermostaten gestellt werden könnte, ohne daß das Abbinden abgewartet werden müßte. Im Warmwasserbad bedarf die Muffel keiner weiteren Wartung mehr.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

1. Unter Anwendnng der geschilderten Methoden bei Kalteinbettung konnte mit keiner der 5 untersuchten Einbettungsmassen ein kontraktionsloser Guß erzielt werden.

2. Unter Zuhilfenahme der Wachsexpansion bei Warmeinbettung konnten die Expansionswerte der Einbettungsmassen so erhöht werden, daß exakte Güsse erzielt wurden.

3. Schnell abbindende Einbettungsmassen stellen die Auswirkung der Wachsexpansion in Frage.

4. Goldlegierung, Einbettungsmasse, Wachs und Temperatur des Warmwasserbades müssen aufeinander abgestimmt sein.

5. Die Formbeständigkeit der Einbettungsmassen beim Vorwärmen wird im günstigen Sinne beeinflußt, wenn die Gußmuffeln nicht direkt der Flamme ausgesetzt sind.

Herrn Professor Dr. Greve gestatte ich mir für die Zuweisung des Themas und seine gütige Unterstützung bei Durchführung der Arbeit gehorsamst zu danken.

nicht unmittelbar der Flamme ausgesetzt sind und Sprünge deshalb kaum vorkommen, aber auch das Vorwärmen über dem Bunsenbrenner führt zum Ziel. Das Mischungsverhältnis der einzelnen Einbettungsmassen entspricht einem Anrühren bis zur Sättigung.

Also auch ohne kostspielige Apparatur können exakte Güsse ausgeführt werden. Erforderlich aber ist die Kenntnis der Legierungen, Einbettungsmassen, des Wachses und der Temperaturen, die, zusammen verwendet, zu diesem Ziele führen. Es dürfte müheloser und empfehlenswerter sein, 20 Minuten lang die Temperatur des Warmbades zu beaufsichtigen und exakte Güsse zu liefern, als mindestens ebensolange schlecht sitzende Gußstücke zu bearbeiten, bis diese passend gemacht sind. Fraglos kann die deutsche Wärmeindustrie auch Thermostaten für Warmwasserbad liefern, die je nach Bedarf auf bestimmte konstant bleibende Temperaturen eingestellt werden können. Dann hätte die Warmeinbettung vor der zweizeitigen Kalteinbettung den Vorteil voraus, daß die Muffel sofort nach der ersten Einbettung des Wachsmodelles mit Einbettungsmasse vollgegossen und in den Thermostaten gestellt werden könnte, ohne daß das Abbinden abgewartet werden müßte. Im Warmwasserbad bedarf die Muffel keiner weiteren Wartung mehr.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

1. Unter Anwendnng der geschilderten Methoden bei Kalteinbettung konnte mit keiner der 5 untersuchten Einbettungsmassen ein kontraktionsloser Guß erzielt werden.

2. Unter Zuhilfenahme der Wachsexpansion bei Warmeinbettung konnten die Expansionswerte der Einbettungsmassen so erhöht werden, daß exakte Güsse erzielt wurden.

3. Schnell abbindende Einbettungsmassen stellen die Auswirkung der Wachsexpansion in Frage.

4. Goldlegierung, Einbettungsmasse, Wachs und Temperatur des Warmwasserbades müssen aufeinander abgestimmt sein.

5. Die Formbeständigkeit der Einbettungsmassen beim Vorwärmen wird im günstigen Sinne beeinflußt, wenn die Gußmuffeln nicht direkt der Flamme ausgesetzt sind.

Herrn Professor Dr. Greve gestatte ich mir für die Zuweisung des Themas und seine gütige Unterstützung bei Durchführung der Arbeit gehorsamst zu danken.

Literatur

1. Elander, K., Das Problem der Herstellung exakter Goldgußfüllungen. — Korr. — Bl. f. Z. 1928. Jg. 52. H. 9 u. H. 10.

2. Fabian, H., Metall- oder Papierzylinder? — Z.R. 1930. Nr. 28.

3. Gerlach, H. P., Beiträge zur Materialkunde. Studie über feuerfeste Einbettungsmassen. — D. z. W. 1932. Jg. 35.

4. Grawinkel, G. J, Die Technik des Goldgusses. Berlin 1921. Verlag von Hermann Meusser.

5. Han, Dje Siong, Experimentelle Untersuchungen zur weiteren Klärung des Gußproblems. — D. M. f. Z. 1930. H. 6.

6. van Horn, The wax pattern: a technique together with appliance etc. for its execution. — Dent. Cosm. 1912.

7. Lutz, W., Volumenänderungen von Wachs und Einbettungsmassen in Bezug auf das Goldgußverfahren. — D. z. W. 1932. Jg. 35.

8. Maves, H. A. & Meyer, F. S., Methods for controlling variables in the casting process. — Journ. of dent. Res. 1928. Bd. 8. (ref. D. M. f. Z. 1929.)

9. Maves, H. A., Expansion technic for dental casting. — Dent. Cosm. 1929. Bd. 71. (ref. D. M. f. Z. 1930.)

10. Maves, T. W., Recent experiments demonstrating wax distorsion on all wax patterns when heat applied. — Journ. of the amer. dent. assoc. 1932. Bd. 19. (ref. D. M. f. Z. 1933.)

11. Orbàn, B., Die Expansionsgußtechnik. — Zschr. f. Stom. 1930. Jg. 28.

12. Preißecker, O., Die Gußmethoden mit Wachsexpansion. — Zschr. f. Stom. 1930. Jg. 28.

13. Price, B. A., The laws determining the behavior of gold in fusing ans casting. — Dent. Cosm. 1911.

14. Rice, W. S., Casting to dimensions employing a water submersion compensating principle. — Dent. Cosm. 1929. Bd. 71. (ref. D. M. f. Z. 1930.)

15. Rosenzweig, M., Bemerkungen zur Expansionsgußtechnik. — Zschr. f. Stom. 1930. Jg. 28.

16. Rosenzweig, M., Der Goldguß. — Berlin - Wien 1931. Urban & Schwarzenberg.

17. Schäffner, Formveränderung von Goldgüssen für die Zahnheilkunde. — Diss. Heidelberg 1931.

18. Scheer, K., Die Fehlerquellen beim Metalleinlageverfahren unter besonderer Berücksichtigung des Gusses mit Randolfmetall und dessen Verhalten im Munde. — D. M. f. Z. 1923 H. 6.

19. Schoenbeck, Materialkunde 1931.

20. Schubert, L., Expansionsgußverfahren und Untersuchungen über ihren praktischen Wert. — D. z. W. 1932. Jg. 35.

21. Schubert, L., Ueber Volumveränderungen von Einbettungsmassen. — D. z. W. 1932. Jg. 35.

22. Schubert, Kurze Mitteilung zu „Beiträge zur Materialkunde. Studie über feuerfeste Einbettungmassen“ von Dr. H. P. Gerlach. — D. z. W. 1932. Jg. 35.

23. Schubert, L., Ueber Materialien. — D. z. W. 1933. Jg. 36. Nr. 3 u. 4.

24. Smreker, E., Handbuch der Porzellanfüllungen und Goldeinlagen. — Teil II. — 2. Aufl. Berlin 1921. Berlinische Verlagsanstalt.

25. Solbrig, O., Welche Faktoren bedingen die Formveränderungen in dem zahnärztl. Gußverfahren. — Vierteljschr. f. Z. 1922. Jg. 38.

26. Spanner, Dr. j., Grundlagen der Gußtechnik. Schweizerische Monatsschrift f. Zahnheilkunde 1933. Nr. 1.

27. Taylor & Pfaffenberger, Progress report on research on dental materials. — Journ. of the amer. dent. Assoc. 1932. Bd. 19.

28. Thilemann, Zur Frage der Herstellung von umfassenden Goldgüssen. — Z. R. 1930. Nr. 43.

29. Volland & Pfaffenberger, Cast gold inlay technic. — Journ. of the amer. dent assoc. 1932. Bd. 19. (ref. D. M. f. Z. 1932.)

30. Weschke, H., Dissertation 1933; Breslau: Versuche zur Erzielung exakter Goldgüsse.

Lebenslauf

Am 23. April 1895 wurde ich als Sohn des Königlichen Oberbahnassistenten Hermann Hartmann und seiner Ehefrau Marie, geb. Preußner in Lauban i. Schl. geboren. Fünf Jahre lang besuchte ich die Bürgerschule in Lauban, von 1906 ab das humanistische Gymnasium und von Ostern 1914 ab das Gymnasium Augustum in Görlitz.

Bei Kriegsausbruch trat ich als Freiwilliger in die Armee ein und nahm als Frontsoldat am Feldzuge 1914 — 1918 und nach der Revolution an den Spartakistenkämpfen und der Niederwerfung der Polenaufstände in Oberschlesien teil. Während meines ersten Heimaturlaubs 1916 legte ich an dem Gymnasium in Görlitz die Reifeprüfung ab.

Fast 8 Jahre verblieb ich im Heeresdienst, schied dann mehrmals verwundet und 50% schwerkriegsbeschädigt, mit dem Charakter als Oberleutnant aus und trat in die berittene Schutzpolizei in Ostpreußen über.

Da ich meine nationale Gesinnung nicht zu verleugnen vermochte, wurde ich von den damaligen Machthabern trotz bester Dienstleistungszeugnisse als „ungeeignet für den Dienst in der republikanischen Schutzwehr" bezeichnet und aus dem Polizeidienst entlassen.

Meine Eltern waren inzwischen gestorben und ich mußte mir das Geld zu meinem späteren Studium als Angestellter einer Bank in Görlitz verdienen.

Vom Sommersemester 1929 ab studierte ich an der Universität Breslau Zahnheilkunde und bestand am 14. November 1930 das Physikum, das Staatsexamen am 10. Dezember 1932.

Ich bin Preuße und evangelisch.

Breslau, den 6. Juli 1933.

Hans Hartmann.